第28卷 第3期 昆虫学报 Vol. 28, No. 3
1985年8月 ACTA ENTOMOLOGICA SINICA Aug., 1985

白纹伊蚊实验种群动态的研究

柳忠婉 张跃进 杨亚钊
(北京中医学院)

摘要 在实验室条件下观察白纹伊蚊种群发育、存活和繁殖的动态，得出年龄特征存活率、繁殖率等数据，编制成生命表，计算出有关种群各项参数，包括内禀增长能力 ($r_m=0.1333$)，净增殖率 ($R_0=45.3017$)，增殖有限速率 ($\lambda=1.1426$)，平均世代周期长 ($T=33.3299$ 天)，瞬时出生率和死亡率 ($b=0.5562$, $d=0.4229$)，稳定年龄组配，成虫前期占 90.66%，成虫期占 9.34%。该蚊种群大约每隔 5.2 天增加一倍。根据结果对该蚊种群传播登革热的关系和防制加以讨论。

关键词 白纹伊蚊 种群动态学 内禀增长能力

动物种群的增长能力很早就引起动物学家，尤其是生态学家的注意。一切动物在有利的环境条件下都会按照一定的速率生长着，存活到一定期限，同时以某种方式产生若干后代。内禀增长能力(*innate capacity for increase*, r_m)是一个物种繁殖能力最重要的指标，它既决定于物种的遗传性，又受环境条件的影响。更全面地说：内禀增长能力是具有稳定年龄组配的动物种群在一定的物理和生物环境下的最大瞬时增长率。有关蚊虫种群内禀增长能力的研究也有不少报道，如 Walter 等(1974)、Gómez 等(1977)、Sulemen 等(1979)对致乏库蚊；Reisen 等(1979)对三带喙库蚊；Hacker (1972)、Southwood 等(1972)、Crovello & Hacker (1972)对埃及伊蚊；Reisen 和 Mahmood (1980)对库态按蚊和斯氏按蚊；曲传智、苏寿泜(1981)对中华按蚊；王菊生、陆宝麟(1981)对巴拉巴按蚊等。

白纹伊蚊 *Aedes* (*Stegomyia*) *albopictus* (Skuse) 是我国传播登革热的重要媒介(陆宝麟，1974)，实验证明它的感染率和埃及伊蚊相似(Chan 等，1971；陈文洲等，1982)，在我国福建、四川等地也被认为与乙型脑炎的传播有关(陆宝麟，1982)，因此笔者对其种群动态作了实验研究，所得数据，经过数学处理，编制成生命表，求得其内禀增长能力及各项参数，用以估量该蚊种群在近似实验条件的自然情况下的种群数量变化，为合理制订防制的有效措施提供理论依据。

材料和方法

材料 本实验的白纹伊蚊系采自上海，经实验室多年饲养的种群。

实验条件 实验是在养蚊箱内进行的，温度控制在 26°±1℃，相对湿度 60—90%，光照 12—14 小时，用自然光和灯光(90—160Lux)混合光照。

幼虫饲养在直径为 15 cm 的搪瓷盆内，盆内盛脱氯水 500—600 毫升，每盆饲养 70—100 只幼虫，幼虫饲以混合饲料(兔肝粉、酵母粉、干馒头粉按 2:1:2 配制)，每天投饲料二

本文于 1983 年 10 月收到。

次，其量视幼虫大小而定，水温为 25°±1℃。

成虫饲养在 $18 \times 18 \times 18\ cm^3$ 之养蚊笼内，每笼养蚊 100 只。自羽化出成蚊即开始饲以 1% 葡萄糖水，并隔日放一只小白鼠(放 24 小时)，供其吸血。

实验

(一) 年龄特征存活率和发育时间

将 24 小时内产于湿滤纸上的卵，在潮湿环境中孵育 24 小时，然后计数 100 个卵下水，以后逐日定时 (8:00 和 20:00 时)观察卵的孵化数，吸出幼虫另行饲养。当最早孵出之幼虫已达三龄时，如仍有部分卵尚未孵化，即不再继续观察，认为不能孵化。饲养过程中逐日记录幼虫死亡数、化蛹数和化蛹时间。此实验重复 10 次。

另取 220 只在 12 小时内孵化的 I 龄幼虫，每 10 只幼虫饲养在盛有 100 毫升水的烧杯内，逐日定时 (8:00 和 20:00 时)观察、记录蜕皮之幼虫数，并将 I 龄幼虫吸出另行饲养，以此类推，以观察各龄幼虫发育时间。

(二) 年龄特征产雌率 (m_x) 实验

取 24 小时内蛹化的蛹 100 个，以清水冲洗后，放入盛水烧杯内，置蚊笼内，待其羽化，观察羽化时间、蛹的死亡数及羽化成蚊雌雄比。每天定时清除蚊笼内死蚊数，分性别计数。每天更换一次产卵皿，记录产卵数。观察一直到最后一只蚊死亡为止。本实验重复 10 次。

数学处理　生命表及各项参数计算公式如下:

1. 按 Deevey (1947) 生命表编制程序 $l_x = \frac{y_x}{y_o}$, y_x 代表日龄为 x 时的存活数，y_o 代表实验开始时的蚊数，l_x 代表各日龄组开始时的存活率。

2. 预期寿命 $e_x = \frac{T_x}{l_x}$, $T_x = \sum_x^{\omega} L_x$, $L_x = \frac{l_x + l_{(x+3)}}{2}$, T_x 代表超过 x 的各日龄组存活率总和。ω 代表实验种群最后一个日龄组的序数。

3. 净增殖率 $R_o = a\sum_u^{\omega} l_x m_x$, $m_x = E_x \cdot S$, E_x 为每个雌蚊在日龄组 x 时所产卵的平均数，S 为性比，a 是指卵发育到成蚊过程中存活的成蚊部分。a 和 S 在本文计算中分别采用 Walter (1974) 的数值：1.0 和 0.5，u 为开始产卵的日龄组序数。

4. 平均世代周期长 $T \approx \frac{\Sigma l_x m_x x}{\Sigma l_x m_x}$

5. 内禀增长能力 r_m 以林昌善 (1964) 改进的公式 $\Sigma e^{6.9048-r_m x} l_x m_x = 1,000$ 计算。

6. 增殖有限速率 $\lambda = e^{r_m}$。

7. 稳定年龄组配 $P_x = 100\beta L_x e^{-r_m(x+3)}$, 式中 P_x 代表日龄为 x 至 $x+3$ 间的个体在种群中所占百分比。β 代表种群在 x 至 $x+3$ 时间内相对出生率，$\frac{1}{\beta} = \sum_{x=0}^{\omega} L_x e^{-r_m(x+3)}$

8. 瞬时出生率 $b = \frac{r_m \beta}{e^{r_m} - 1}$。

瞬时死亡率 $d = b - r_m$

9. 经 t 时刻后，雌性个体的数量 $N_t = N_o e^{r_m t}$, 式中 N_o 为 t_o 时雌性个体数。

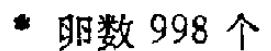
结 果

成虫前期发育时间和各期存活率 根据998个卵饲养的结果，成虫前期各期发育时间和存活率见表1。雌性成虫前期比雄性的长。另外220只幼虫饲养结果，各龄幼虫发育

表 1 白纹伊蚊成虫前期平均发育时间和存活率（26°±1℃综合条件）

Table 1 The average durations of development of the premature stages and the percentage of survival at 26°±1℃

发育时间		存活率（%）*	
卵	4.25 天	卵（孵化百分数）	86.57
幼虫	6.69 天	幼虫（蛹化百分数）	92.87
蛹	2.40 天	蛹（羽化百分数）	93.43
成虫前期		卵相对死亡率	13.43
♂	12.38 天	幼虫相对死亡率	7.11
♀	13.54 天	蛹相对死亡率	6.88
		成成虫率	75.13


* 卵数 998 个

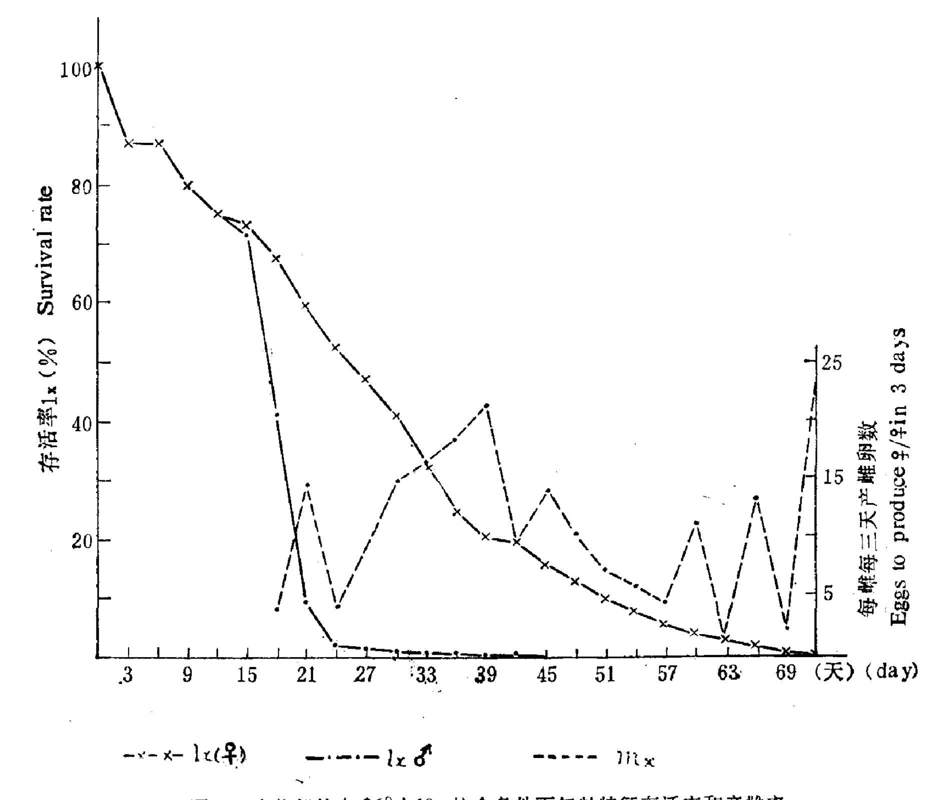


图 1 白纹伊蚊在26°±1℃综合条件下年龄特征存活率和产雌率

Fig. 1 Percentage of age-specific survival and multiplication rate of the females at 26° ±1℃

×—×—× l_x(♀) —·—·—l_x(♂) -------m_x

时间长短不同，I龄幼虫平均发育时间为2.0787±0.3174天，II龄幼虫为0.9346±0.3757天，III龄为1.2687±0.6074天，IV龄为2.4146±0.6074天。

表 2　白纹伊蚊成蚊存活特性（26°±1℃ 综合条件）

Table 2　The survival characteristics of the adult mosquitoes at 26°±1℃

雌　雄　比	1.115:1
♀蚊平均寿命(天)	22.7269±13.5318
♂蚊平均寿命(天)	7.8434±2.9437
♀蚊最长寿命(天)	62
♂蚊最长寿命(天)	35
♀蚊预期寿命(天)	21.2886
♂蚊预期寿命(天)	6.5322

表 3　白纹伊蚊生命表（26°±1℃ 综合条件）

Table 3　Life table of *A. albopictus* at 26°±1℃

年龄组(天)	代表性年龄 (x)	雌　蚊　(♀)			雄　蚊　(♂)	
		存活率 (l_x)	每雌产雌率 (m_x)	预期寿命 (e_x)	存活率 (l_x)	预期寿命 (e_x)
0—	1.5	1.0000		26.2275	1.0000	15.1410
3—	4.5	0.8657		27.0636	0.8657	14.2572
6—	7.5	0.8657		24.0636	0.8657	11.2572
9—	10.5	0.8041		22.7922	0.8041	9.0048
12—	13.5	0.7531		21.2886	0.7531	6.5322
15—	16.5	0.7340		18.7548	0.7187	3.7602
18—	19.5	0.6733	3.9078	17.3106	0.4139	2.4249
21—	22.5	0.5953	14.1092	16.3821	0.0780	3.4077
24—	25.5	0.5259	4.9066	15.3459	0.0156	7.9185
27—	28.5	0.4768	8.5909	13.7718	0.0142	5.6832
30—	31.5	0.4103	14.7606	12.7608	0.0071	6.8661
33—	34.5	0.3207	16.5631	12.9069	0.0043	7.3605
36—	37.5	0.2456	18.5059	13.3950	0.0028	7.5000
39—	40.5	0.2025	21.3803	12.7368	0.0028	4.5000
42—	43.5	0.1878	9.4308	10.7781	0.0014	4.5000
45—	46.5	0.1513	14.1793	9.8808	0.0014	1.5000
48—	49.5	0.1271	10.6344	8.5953		
51—	52.5	0.0954	7.1818	7.9527		
54—	55.5	0.0722	5.9600	7.0263		
57—	58.5	0.0491	4.4118	6.6264		
60—	61.5	0.0347	11.2917	5.7537		
63—	64.5	0.0289	1.4000	3.6072		
66—	67.5	0.0116	13.5000	3.7500		
69—	70.5	0.0058	2.0000	3.0000		
72—	73.5	0.0029	23.5000	1.5000		

雌雄成蚊寿命和年龄特征存活率　见表 2 和图 1。雌性成蚊存活时间显著比雄性成蚊长，雄蚊在羽化后三天即开始大量死亡，存活率曲线呈陡峭下降，雌蚊从羽化后三天开始有死亡，死亡逐渐增加，存活率曲线呈缓慢下降。

生命表　本文生命表(表 3)只列出存活率，每雌产雌率(产卵数的 1/2)和预期寿命。雌蚊羽化后平均 5 天开始产卵，最大产卵期为 56 天，平均每雌产卵总数为 120.76 个。

从图 1 可以看出，生殖率曲线很不规则，从开始产卵的第三天 m_x 即上升，第 12—27 天为高峰，以后虽有时 m_x 仍较高，但存活的雌蚊已很少。

内禀增长能力和各项参数 根据实验所得数据计算结果：

内禀增长能力 r_m	0.133285
瞬时出生率 b	0.5562
瞬时死亡率 d	0.4229
净增殖率 R_o	45.3017
增殖有限速率 λ	1.1426
世代周期长 T	33.3299

表 4 白纹伊蚊稳定年龄组配

Table 4 Stable age composition of *A. albopictus* ($r_m = 0.1333$)

年龄组 $x—x+3$ (天)	L_x	$e^{-r_m(x+3)}$	$L_x e^{-r_m(x+3)}$	稳定年龄组配百分比 $P_x = 100\beta L_x e^{-r_m(x+3)}$	
0—3	0.9329	0.6704	0.6254	37.2115	90.6618 (0—12)
3—6	0.8657	0.4495	0.3891	23.1502	
6—9	0.8349	0.3013	0.2516	14.9681	
9—12	0.7777	0.2020	0.1571	9.3474	
12—15	0.7427	0.1354	0.1006	5.9846	
15—18	0.7037	0.0908	0.0639	3.8051	9.3417 (15—75)
18—21	0.6343	0.0609	0.0386	2.2973	
21—24	0.5606	0.0408	0.0229	1.3612	
24—27	0.5014	0.0274	0.0137	0.8162	
27—30	0.4436	0.0183	0.0081	0.4841	
30—33	0.3655	0.0123	0.0045	0.2674	
33—36	0.2832	0.0082	0.0023	0.1389	
36—39	0.2254	0.0055	0.0012	0.0741	
39—42	0.1965	0.0037	0.0007	0.0433	
42—45	0.1705	0.0025	0.0004	0.0258	
45—48	0.1401	0.0017	0.0002	0.0139	
48—51	0.1113	0.0011	0.0001	0.0074	
51—54	0.0838	0.0007	0.00006	0.0037	
54—57	0.0607	0.0005	0.00003	0.0018	
57—60	0.0419	0.00034	0.00001	0.0008	
60—63	0.0318	0.00023	0.000007	0.0004	
63—66	0.0203	0.00015	0.000003	0.0002	
66—69	0.0087	0.00010	0.000001	0.0001	
69—72	0.0044	0.00007	0.0000003	0.00002	
72—75	0.0015	0.00005	0.0000001		

$$\Sigma L_x e^{-r_m(x+3)} = \frac{1}{\beta} = 1.6807482$$

$$\therefore \beta = 0.5949731$$

$$b = \frac{r_m \beta}{e^{r_m} - 1} = 0.5562$$

$$d = b - r_m = 0.4229$$

假如该蚊种经过 t 时间后净增一倍即 $\frac{N_t}{N_o}=2$，而 $N_t=N_o e^{r_m t}$，$r_m=l_n 2=0.69315$，$t=\frac{0.69315}{0.133285}=5.2005$。即该蚊种群数量在上述综合条件下约以每 5.2 天可增一倍。

稳定年龄组配　见表4。成虫前期占 90.6748%，成虫期占 9.3254%。

讨　　论

在本实验综合条件下，白纹伊蚊成虫前期发育时间，雌蚊为 13.5 天，雄蚊为 12.8 天，比前人(中央卫生研究院，1953) 在 24—26.5℃条件下的结果长，主要是卵期较长，本实验中卵期最短为 1.5 天，平均 4.25 天。雌蚊成虫前期比雄蚊长，明显表现在幼虫期，蛹期不明显。

本实验的结果雌蚊平均寿命为 22.73 天，雄蚊为 7.84 天，雄蚊寿命较短似为生理学特性，当雌蚊开始产卵时，雄蚊即开始大量死亡。另外一组单个饲养的雌蚊(雌雄蚊在蚊笼内羽化后，饲养至雌蚊吸血之次日取出，单个饲养在小广口瓶内，使其产卵)的结果看，雌蚊只需在第一次产卵前交配即够以后卵受精用，因此雄蚊一旦完成其生殖任务，即开始大量死亡，可能是一种自然现象，前人报告中，其他蚊种同有此情况 (Gómez 等，1977)。

本实验条件下白纹伊蚊产卵数较少，平均每只雌蚊产卵总数为 120.76 个，在同样条件下，另外单个饲养的 108 只雌蚊平均每雌产卵数为 119.82 个，与蚊笼内饲养的结果相近。在单个饲养的雌蚊中，产卵最多的蚊子产卵 7 次，共产卵 466 个，但在 108 只雌蚊中有 25 只蚊子吸血后多日不产卵，最后死亡，或吸血 2—3 次才产数个卵，这种现象是何原因？在这次实验中没有进一步观察。蚊子产卵与其所吸何种动物的血有关系 (Clements, 1963)，白纹伊蚊在自然界嗜吸人血，它的产卵情况如何？也需进一步观察。

从实验结果看，白纹伊蚊年龄组配成虫前期占 90.66%，成虫期占 9.34%，其成蚊期各日龄组占整个成蚊期的比例，若将 9.34 作为 100 计算，则寿命在 12 天以内的占 88.63%，12 天以上的占 11.37%。Whitehead 等(1971)报告登革热病毒在白纹伊蚊中的外潜伏期为 11 天，说明寿命在 11 天以上的蚊子可能成为有效的传播媒介，本实验结果中这一部分蚊子所占比例虽小，但从一个地区整个蚊群而言，它的数量还是不少的，可见该蚊种在此条件下潜在传播登革热的危险性是不可忽视的。

以上结果是在实验室条件下获得的，与自然情况会有一定差距，在运用实验种群参数时，还应从生态学系统总体出发，把实验室特定条件下所得的生物学特性与自然界各种环境条件联系起来进行分析和推理，为防治工作提供理论依据。

参　考　文　献

王菊生、王宝麟　1981　巴拉巴按蚊实验种群动力学。贵阳医学院学报 **6** (1.2)：112。
中央卫生研究院　1953　在不同温度的饲养情况下白纹伊蚊生活史的观察。中央卫生研究院华东分院1953年年报，315。
曲传智、苏寿汦　1981　郑州地区中华按蚊种群动力学实验研究。河南医学院学报 **6** (4)：556。
陆宝麟　1974　蚊虫和几种蚊媒病毒感染。国外军事医学资料，第五分册 1974 (4)：21。
陆宝麟　1982　中国白纹伊蚊亚组伊蚊的研究。I. 成蚊。动物学研究 **3** (4)：327。
陈文洲等　1982　从海南岛白纹伊蚊体内分出登革热 III 型病毒。中华流行病学杂志 **3** (4)：213。
林昌善　1964　动物种群数量变动的理论与试验研究。 II. 杂拟谷盗 *Tribolium contusum* (H.) 的内禀增长能力 (r_m) 的研究。动物学报 **16** (3)：323。

Chan, Y. C., B. C. Ho and K. L. Chan 1971 *Aedes aegypti* (L.) and *Aedes albopictus* (Skuse) in Singapore City. 5. Observations in relation of dengue haemorrhagic fever. *Bull. W. H. O.* **44**: 651—8.

Clements, A. N. 1963 The physiology of mosquitoes. Pergamon Press, London.

Crovello, T. J. and C. S. Hacker 1972 Evolutionary strategies in the life table characteristics among feral and urban strains of *Aedes aegypti* (L.). *Evolution* **26**: 185—96.

Deevey, E. S. 1947 Life table of natural populations of animals. *Quart. Rev. Biol.* **22**: 283—314.

Gomez, C., J. E. Rabinovich and C. E. Nachado-Allison 1977 Population analysis of *Culex pipiens fatigans* Wied (Diptera: Culicidae) under laboratory condition. *J. Med. Entomol.* **13** (4—5): 453—63.

Hacker, C. S. 1972 Measuring reproductive potential in populations. *Mosquito News*. **32**: 193—6.

Reisen, W. K., T. F. Siddiqui, Y. Aslam, and G. M. Malik 1979 Geographic variation among life table characteristics of *Culex tritaeniorhychus* from Asia. *Ann. Ent. Soc. Amer.* **72**(5): 700—9.

Reisen, W. K. and F. Mahmood 1980 Horizontal life table characteristics of the malaria vectors *Anopheles culicifacies* and *Anopheles stephensi* (Diptera: Culicidae) *J. Med. Entomol.* **17**(3): 211—7.

Southwood, T. R. E., G. Murdie, M. Yasuna, R. Tonn and P. Reader 1972 Studies on the life of *Aedes aegypti* in Wat Samphaga, Bangkok, Tailand. *Bull. W. H. O.* **46**: 211—6.

Sulemen, M. and W. K. Reisen 1979 *Culex quinquefaciatus* Say: Life table characteristics of adults reared from wild cought pupae from North-east Frantier Provine Pakistan. *Mosquito News* **39** (4): 756—62.

Walter, N. M. and C. S. Hacker 1974 Variation in life table characteristics among three geographic strains of *Culex pipiens quinquefasciatus*. *J. Med. Entomol.* **11**(5): 541—50.

Whitehead, R. H., J. M. Yuill, D. J. Gould and P. Simasathien 1971 Experimental infection of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* with denque viruses. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.* **65**: 661—7.

POPULATION DYNAMICS OF *AEDES (STEGOMYIA) ALBOPICTUS* (SKUSE) UNDER LABORATORY CONDITIONS

Liu Zhong-wan Zhang Yue-jin Yang Ya-zhao

(Beijing College of Traditional Medicine)

A laboratory experiment on *Aedes (Stegomyia) albopictus* (Skuse) was carried out to look for the information of mortality and fecundity and to derive statistical estimation of some population parameters. The rearing conditions were maintained at 26°±1°C, 60—90% RH and a light regime of 14L:10D. Data are provided for the rates of development in different stages, the percentages of survival, repreductive capacity and the sex ratio. Life expectancy is calculated for both sexes. The following parameters have been obtained: innate capacity of population increase (r_m=0.1333), instantaneous rates of birth and death (b=0.5562, d=0.4429), net reproductive rate (R_o=45.3017), finite rate of increase (λ=1.1426/day), generation time (T=33.3299 days). Stable age distribution gives indication that about 90% of the population is included between the egg stage and the beginning of the adult life. The population of this mosquito under this condition would increase by one fold in about 5.2 days. These results are discussed in the context of Dengue fever transmission.

Key words *Aedes albopictus*——population dynamics——innate capacity for population increase